

Me ■9

(298/1961)

UDC 669.15-151:539.319

# ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA

MECHANICAL ENGINEERING SERIES No. 9

JAAKKO SALOKANGAS

Über die Messung der Spannungsverluste in Stahl bei  
erhöhten Temperaturen

Finnish Contribution No. 22

Also published as PUBLICATION No. 57 OF THE STATE INSTITUTE FOR TECHNICAL RESEARCH, FINLAND.

HELSINKI 1961

# **ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA**

*... a Scandinavian contribution to international engineering sciences*

Published under the auspices of the Scandinavian Council for Applied Research

in Denmark by the Danish Academy of Technical Sciences

in Finland by the Finnish Academy of Technical Sciences, the Swedish Academy of Engineering Sciences in Finland, and the State Institute for Technical Research

in Norway by the Norwegian Academy of Technical Science and the Royal Norwegian Council for Scientific and Industrial Research

in Sweden by the Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, the Swedish Natural Science Research Council, and the Swedish Technical Research Council

*Acta Polytechnica Scandinavica consists of the following sub-series:*

*Chemistry including Metallurgy Series, Ch*

*Civil Engineering and Building Construction Series, Ci*

*Electrical Engineering Series, El*

*Mathematics and Computing Machinery Series, Ma*

*Mechanical Engineering Series, Me*

*Physics including Nucleonics Series, Ph*

For subscription to the complete series or to one or more of the sub-series and for purchase of single copies, please write to

## **ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA PUBLISHING OFFICE**

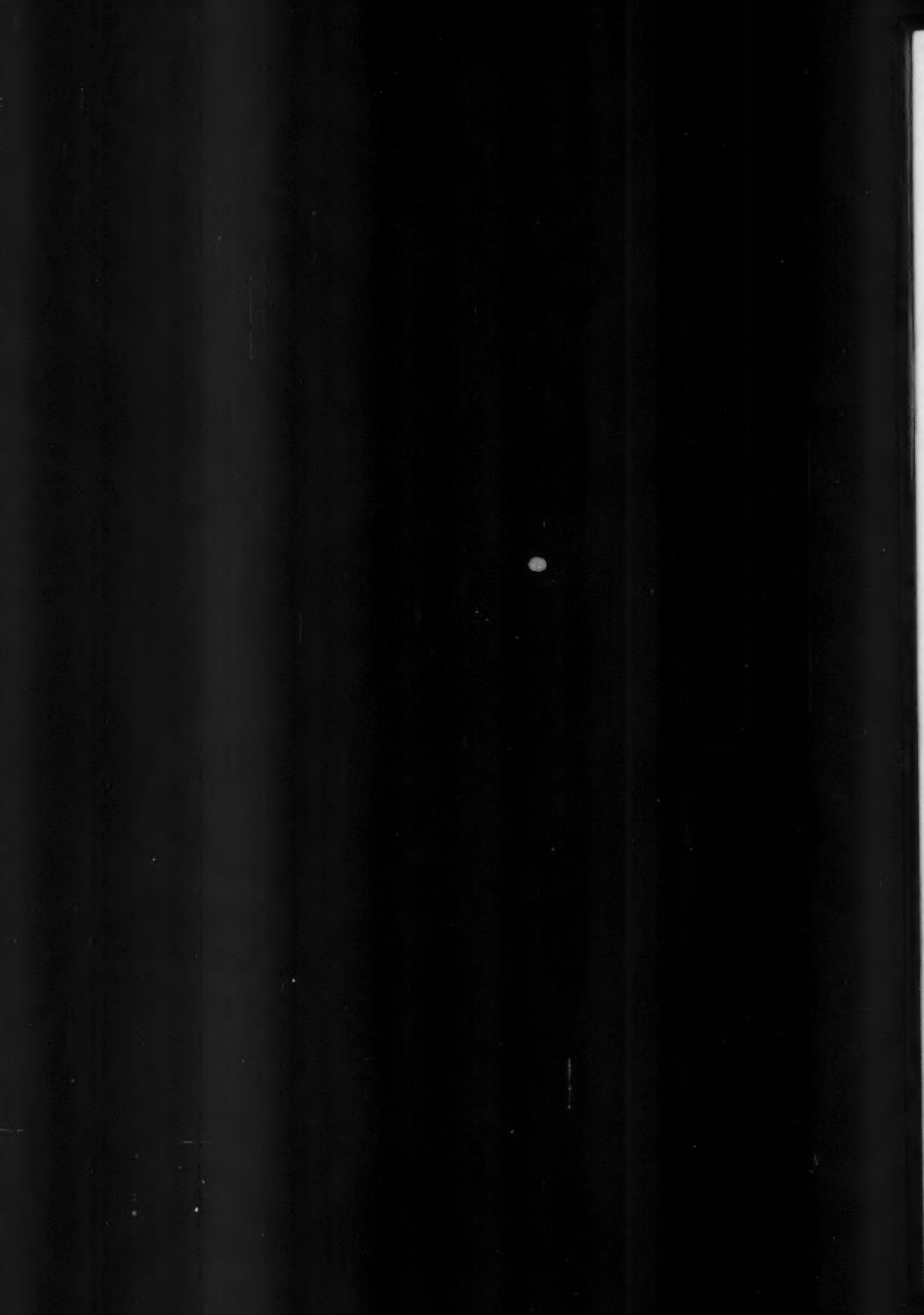
Box 5073  
Stockholm 5

Phone 67 09 10

*This issue is published by*

**THE STATE INSTITUTE FOR TECHNICAL RESEARCH  
Helsinki, Finland**





DK 669.15 - 151: 539.319

**VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSLAITOS  
STATENS TEKNISKA FORSKNINGSANSTALT  
STAATLICHE TECHNISCHE FORSCHUNGSANSTALT, FINNLAND**

**JULKAI SU 57 PUBLIKATION**

# **ÜBER DIE MESSUNG DER SPANNUNGS- VERLUSTE IN STAHL BEI ERHÖHTEN TEMPERATUREN**

**JAAKKO SALOKANGAS**

**HELSINKI 1961**

GOVINDARAJ AND DURRANI AND SINGH  
WITH COMMENTS FROM SATEESH GUHA  
AND RAVI CHAKRABORTY

## INHALT

	Seite
1. EINLEITUNG .....	5
2. DIE AUSLÖSUNG DES SPANNUNGSZUSTANDS IN ABHÄNGIGKEIT VON SPANNUNGSZUSTAND, TEMPERATUR UND ZEIT .....	7
21. Mechanische Apparatur zum Messen der Auslösung von Spannungszuständen .....	7
22. Messegebnisse mit kohlenstoffarmem Stahl .....	9
221. Versuchsmaterial und dessen Behandlung .....	9
222. Ausführung der Versuche .....	9
223. Untersuchung der Probestäbe nach den Spannungsauslösungen ....	11
3. ZUSAMMENFASSUNG .....	17
4. SCHRIFTTUM .....	18

TABLE I

small  
the two species are very similar in their general structure. CHITONIS is  
very similar to *CHITONIS* and *CHITONIA*. The *C.* *chitonis* is  
more elongated than the two last mentioned, but it has  
very similar soft parts, and its shell is very similar to that of *CHITONIA*,  
but it is more elongated. The soft parts of *C. chitonis* are  
more elongated than those of *CHITONIA*, but they are very similar.  
The soft parts of *C. chitonis* are more elongated than those of *CHITONIS*, but  
they are very similar. The soft parts of *C. chitonis* are more elongated than  
those of *CHITONIA*, but they are very similar. The soft parts of *C. chitonis* are  
more elongated than those of *CHITONIS*, but they are very similar.

zugezogen, sobald gewünscht wird und kann wieder gelöst werden. Die Zuggewichtserhöhung ist gleichzeitig mit der Spannungswirkung verbunden und gegenseitig abhängig. Ein Spannungsabfall führt zu einer Spannungsabsenkung und umgekehrt.

## 1. EINLEITUNG

Wenn auf einen festen Körper eine äussere Kraft ausgeübt wird, so entsteht im Körper ein Spannungszustand. Unter inneren Spannungen oder Eigenspannungen versteht man diejenigen elastischen Spannungen, die in einem Körper auch dann vorhanden sind, wenn dieser unter dem Einfluss keiner äusseren Kraft steht. Die inneren Spannungen werden in zwei Haupttypen, die Makrospannungen und die Mikrospannungen eingeteilt. Die ersten sind Spannungen mit gleichmässiger Verteilung über ein ausgedehntes Gebiet, während die Mikrospannungen solche sind, die von Kristall zu Kristall oder auch innerhalb eines derselben Kristalls variieren [1], [2], [9], [14]. Mittels der Theorie der elastischen Erscheinungen kann man unter Heranziehung der Tensorrechnung die Ausdehnung und Energie der Eigenspannungen berechnen [3], [10]. Eigenspannungen unterscheiden sich bezüglich ihrer Natur in keiner Weise von der durch äussere Kräfte hervorgerufenen Spannungen. Im Gegensatz zu den letzteren halten sie sich nur innerhalb des Körpers das Gleichgewicht. In der vorliegenden Arbeit kam kohlenstoffarmen Stahl sowohl in normalisiertem Zustand als auch normalisiert und anschliessend im Betrag von 10 % bearbeitet zur Anwendung, und die Auflösung einer Spannung von 5 bzw. 10 kp/mm<sup>2</sup> wurde gemessen, indem die Formänderung im Körper konstant gehalten und bei gleichbleibender Temperatur die Abnahme der zum Aufrechterhalten der konstanten Formänderung erforderlichen Kraft verfolgt wurde, also die Relaxation. Es handelt sich um die gleichen Erscheinungen, die sich in der Primärphase des Kriechversuchs abspielen [12], [13], [17]. Hierbei gleiten die verschiedenen Teile des Kristalls in bezug aufeinander längs bestimmten Ebenen und die Körner gleiten auch gegeneinander längs der gemeinsamen Begrenzungen. Dank der Kaltverformung stand bei den um 10 % bearbeiteten Stäben eine stärkere Auflösung der Spannungen als beim normalisierten Material unter Voraussetzung genügend hoher Temperatur und hinreichender Zeit zu erwarten, da sich infolge der Kaltverformung in der Struktur in reichlicher Zahl das Klettern der Dislokationen begünstigende Vakanzien ergeben haben [12], [17]. Ist die Temperatur

niedrig genug und die Zeit hinreichend kurz, dann ist die Auslösung des Spannungen infolge der Bearbeitungsverfestigung bei dem bearbeiteten Material geringer als bei dem normalisierten. Dann steigt bei dem bearbeiteten Material die Fließgrenze der Kristalle.

## **2. DIE AUSLÖSUNG DES SPANNUNGSZUSTANDS IN ABHÄNGIGKEIT VON SPANNUNGSZUSTAND, TEMPERATUR UND ZEIT**

### **21. MECHANISCHE APPARATUR ZUM MESSEN DER AUSLÖSUNG VON SPANNUNGSZUSTÄNDEN**

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Messung der Auslösung von Spannungszuständen mittels der in Bild 1 gezeigten Apparatur, indem im Probekörper bei gegebener Temperatur die Formänderung auf einem gewünschten Wert konstant gehalten und die zum Aufrechterhalten dieser konstanten Formänderung benötigte Kraft als Funktion der Zeit aufgezeichnet wurde. Die hauptsächlichen Bestandteile der Apparatur sind der Ofen, der Belastungsmechanismus, der Regelmechanismus und die Registriervorrichtung.

Der Regler vermochte die gewünschte Temperatur normalerweise auf  $\pm 0,5$  °C genau im Ofen einzuhalten. Der Probekörper wurde in Backen eingeschraubt und die Zuglast mittels eines Hebelsystems erzielt. Der Probekörper war ein Kriechfestigkeitsstab nach der DIN-Norm mit der Messlänge 100 mm und dem Durchmesser 10 mm; seine Dehnung wurde mit Hilfe einer Spiegelanordnung nach Matens in die Verschiebung eines Lichtflecks auf einer Doppelphotozelle übertragen. Die Wegvergrößerung war hierbei eine 1000fache. Je nach dem, welche Hälfte der Photozelle vom Licht getroffen wird, ergibt sich eine Spannung verschiedener Polarität, die über einen Verstärker der Drehrichtungswicklung des Servomotors zugeführt wird und dessen Drehsinn bestimmt. Bei einer Dehnung des Probestabs fällt der Lichtfleck auf die untere Zellenhälfte, deren Spannung den Servomotor veranlasst, die Gewichte auf dem Hebelarm derart zu verschieben, dass die Belastung geringer wird. Dies hat eine Verkürzung der Probestabs zur Folge und der Lichtfleck geht in seine Gleichgewichtslage zurück. Die Stellungsanzeige der Gewichte auf dem Hebelarm wird durch ein Hebelgestänge auf den Schreibstift des Registriergeräts übertragen, dessen Papierstreifen von einem Uhrwerk fortbewegt wird. So ergibt sich eine fortlaufende, die Auslösung der Spannungen wiedergebende Kurve.

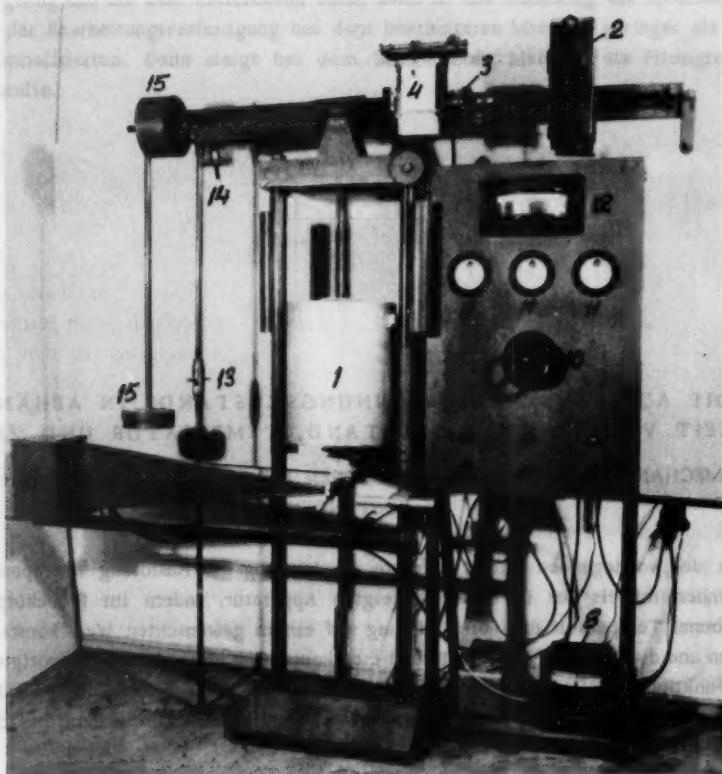


Bild 1. Mechanische Apparatur zum Messen der Auslösung von Spannungen. - 1: Ofen, 2: Am Hebelarm verstellbares Gewicht, 3: Servomotor, 4: Registriervorrichtung, 5: Photozellen-Schutzaube, 6: Lichtquelle, 7: Martens-Spiegel, 8: Temperaturregler, 9: Schalter, 10: Stromregelung der Heizwiederstände, 11: Strommesser für Heizwiederstände, 12: Ofenthermometer, 13: Stellschraube zum Einstellen der Lasthebelneigung, 14: Schraube zum Feststellen des Lasthebels, 15: Gegengewicht.

Bild 2 zeigt die Schaltung, nach welcher die Spannung vom Martens-Spiegelgeber den Servomotor beeinflusst.

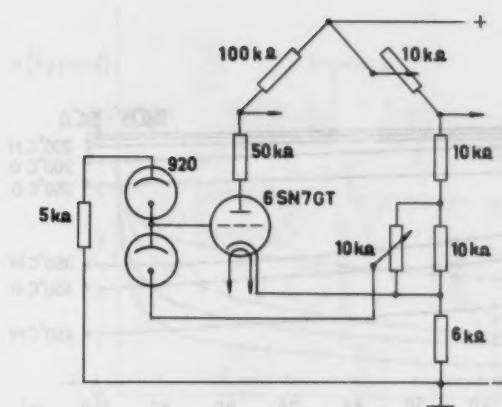


Bild 2. Anschaltung der Spannung vom Formänderungsgeber an den Servomotor.

## 22. MESSERGEBNISSE MIT KOHLENSTOFFARMER STAHL

### 221. Versuchsmaterial und dessen Behandlung

Das Versuchsmaterial bestand aus kohlenstoffarmer Stahl, zu Stangen von 20 mm Durchmesser heißverwalzt und mit der Zusammensetzung C = 0,11 %, Si = 0,35 %, Mn = 0,44 %, P = 0,011 %, S = 0,028 %. Zum Beseitigen der Walzspannungen erfolgte Normalisieren bei 910 °C während  $\frac{1}{2}$  Stunde. Die Messungen bezweckten, den Einfluss der bleibenden Dehnung auf die Auflösung des Spannungszustands herzubringen. In diesem Sinn wurde ein Teil des normalisierten Materials durch Recken im Betrag von 10 % kaltbearbeitet.

### 222. Ausführung der Versuche

Wie in Abschnitt 221. beschrieben wurde, war ein Teil der Probestäbe normalisiert und der andere Teil zuerst normalisiert und alsdann durch Recken um 10 % kaltbearbeitet. Tabelle 1 in Abschnitt 223. gibt zu erkennen, dass diese Reckung um 10 % an der Staboberfläche eine Druckspannung von  $-11 \text{ kp/mm}^2$  erzeugt hat. Die Versuche betreffs der Auflösung der Spannungen erfolgten derart, dass in dem in Abschnitt 21. beschriebenen Apparat (Bild 1) die der Zugspannung +10 bzw. +5  $\text{kp/mm}^2$  entsprechende Formänderung des Probestabs eingestellt und jeweils bei einer bestimmten Temperatur konstant gehalten sowie die zu ihrem Aufrechterhalten benötigte Kraft in Abhängigkeit von der Zeit registriert wurde.

Die Versuche fanden während je 100 Stunden abwechselnd mit einem normalisierten unbearbeiteten und einem normalisierten, um 10 % kaltbearbeiteten Stab statt. Vor dem Versuch wurden die Stäbe 20 Stunden lang im Ofen in der Versuchstemperatur

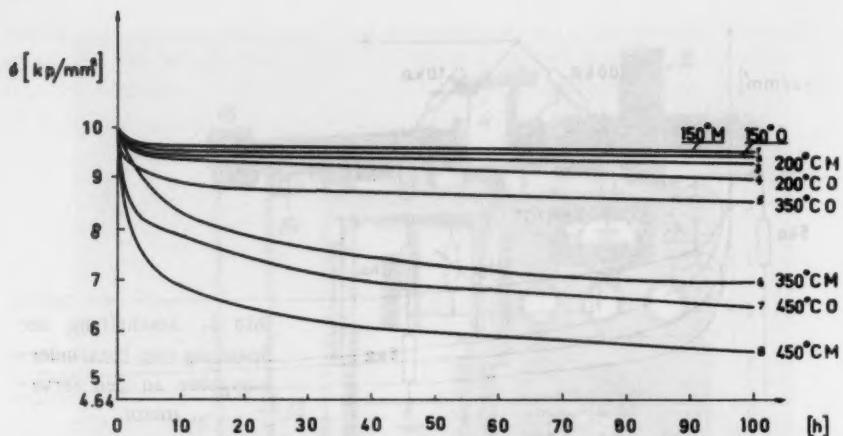


Bild 3. Spannungsauslösungscurven bei kohlenstoffarmer Stahl.

gehalten. Die Versuchstemperatur variierte zwischen 150 und 550 °C. Da bei Versuchsbeginn das Auflegen der Last eine Dehnung des Probestabs mit entsprechender Auswanderung des Lichtflecks von der Martens-Spiegelanordnung bewirkt und das Aufsuchen der Gleichgewichtslage einige Zeit in Anspruch nimmt, wurde bei den Versuchen stets 1 Minute nach Auflegen der Spannung mit der eigentlichen Messung der Spannungsauslösung begonnen.

Bild 3 zeigt die aus den Versuchen mit 10 kp/mm<sup>2</sup> Ausgangsspannung bei verschiedenen Temperaturen für den normalisierten sowie den normalisierten und um 10 % bearbeiteten kohlenstoffarmer Stahl erhaltenen Spannungsauslösungscurven in Abhängigkeit von der Zeit.

In gleicher Weise sind in Bild 4 die bei der Ausgangsspannung 5 kp/mm<sup>2</sup> gewonnenen Auslösungscurven zu sehen.

In den Kurven bezeichnet 0 den unbearbeiteten und M den um 10 % kaltbearbeiteten Probstab. Beim Betrachten der Kurven ersieht man sofort den Einfluss der Bearbeitung sowie der Temperatur auf die Auslösung der Spannungen. Bei Temperaturen von den höchsten Werten bis etwa 200 °C erfolgt Auslösung der Spannungen im bearbeiteten Stahl in grösserem Mass als beim unbearbeiteten; von hier abwärts weist das unbearbeitete Material eine etwas stärkere Auslösung auf. Mit der Ausgangsspannung 10 kp/mm<sup>2</sup> war bei den Temperaturen 350 und 450 °C die Auslösung nach einer gewissen Zeit im bearbeiteten Material bedeutend stärker als im unbearbeiteten; bei 350 °C wies nämlich das unbearbeitete Material während etwa der drei ersten Stunden eine stärkere Auslösung als das bearbeitete Material auf, wonach aber letzteres den Vorrang gewann. Bei höheren Temperaturen ist diese Zeit viel kürzer. Dies findet seine Erklärung in dem in Abschnitt 1 erwähnten Umstand. Aus den Kurven kann berechnet werden, dass nach einer Versuchsdauer von 100 Stun-

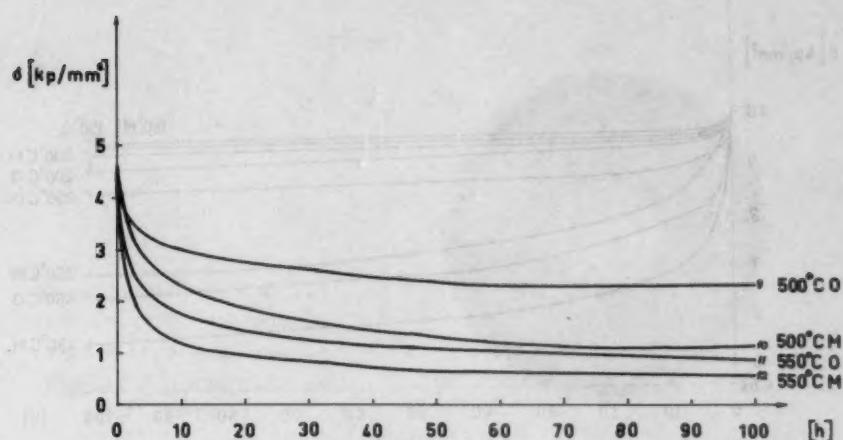


Bild 4. Spannungsauslösungscurven bei kohlenstoffarmer Stahl.

den der obenerwähnte Unterschied zwischen der Auslösung im bearbeiteten bzw. unbearbeiteten Material bei 350 °C 51 % und bei 450 °C 22 % der gesamten Auslösung ausmacht. In den Versuchen mit 5 kp/mm<sup>2</sup> Ausgangsspannung beträgt er entsprechend bei 500 bzw. 550 °C 29 bzw. 10 %, d.h. etwa die Hälfte von obigen Werten, wie auch die Anfangsspannung halb so hoch ist. Bei 200 °C und 150 °C zeigte sich beim bearbeiteten Material eine etwas geringere Auslösung als beim unbearbeiteten. Dies dürfte auf Bearbeitungsverfestigung zurückführbar sein.

Die Probestäbe sind auf der Drehbank hergestellt worden. Der Drehvorgang bewirkt geringe zusätzliche Spannungszustände, die jedoch ihres kleinen Betrags wegen bei den Auslösungsmessungen vernachlässigt wurden.

#### 223. Untersuchung der Probestäbe nach den Spannungsauslösungs-messungen

Nachdem mit den Probestäben die Messungen betreffs der Ablösung der Spannungen nach Bild 3 und 4 durchgeführt waren, wurde jeder Probstab zur Feststellung des Spannungszustands in der Oberfläche nach dem Auslösungsversuch sowohl mittels der Röntgeninterferenz als auch metallographisch untersucht. Wie zuvor erwähnt, wurde ein Teil der Probestäbe einleitend einer Bearbeitung durch Recken um 10 % unterzogen. Nach einer solchen plastischen Verformung stellt sich im Stahl ein mehrachsiger Eigenspannungszustand ein, in dem die Eigenspannung quer zur Zugrichtung kleiner als diejenige in der Zugrichtung ist. Die Eigenspannungen in der Längsrichtung des Stabes wurden nach der röntgenographische Methode in sämtlichen Probestäben nach dem Spannungsauslöseversuch gemessen.



Bild 5. Debye-Scherrer-Ringe in einer nach dem Schwenkverfahren gemachten Röntgenaufnahme (entspricht Kurve Nr. 6 in Bild 3).

In der vorliegenden Arbeit wurden Spannungsmessungen in der Zugrichtung der Bearbeitung mit Cr-Strahlung und mit der reflektierenden Ebene (211) vorgenommen, und zwar wurden nach dem Schwenkverfahren unter einem Bestrahlungswinkel von  $45^\circ$  jeweils zwei Aufnahmen auf einen Film gemacht [5], [16]. Nach Schaal [16] ist die Genauigkeit für Stahl  $\pm 2 \text{ kp/mm}^2$ . Die Messungen erfolgten an der Schlifffläche nach elektrolytischer Ätzung, bei der die vom Feilen und Schleifen erzeugten Spannungszustände verschwanden, was durch Messung festgestellt wurde. Auf diese Weise gelingt es, den tatsächlichen Eigenspannungszustand zu erfassen [11]. Bei elektrolytischer Ätzung während 100 Sekunden mit der Stromdichte  $1,04 \text{ A/cm}^2$  wird von der Oberfläche eine Schicht von  $0,01 \text{ mm}$  Stärke abgetragen. Längere Ätzdauer brachte keine weitere Verbesserung der Lage. Das erzielte Ergebnis steht im Einklang mit Angaben im Schrifttum [7], [16]. Die Messungen erzeugten nur bei den bearbeiteten Stäben einwandfreie Aufnahmen; bei den unbearbeiteten waren die Aufnahmen infolge der hohen Reflexzahl unausmessbar. Bild 5 zeigt die Debye-Scherrer-Ringe einer nach dem Schwenkverfahren gemachten Röntgenaufnahme, während in Tabelle 1 die Resultate bezüglich des Eigenspannungszustand der bearbeiteten Stäbe Nr. 6, 8, 10 und 12 nach durchgeföhrtem Spannungs-auslösungsversuch zusammengefasst sind. Man sieht, dass der normalisierte und anschliessend im Betrag von 10 % kaltbearbeitete Stab einen Eigenspannungszustand mit dem Spannungsbetrag  $-11 \text{ kp/mm}^2$  besitzt. Dieses Ergebnis ist gut mit den im Schrifttum angegebenen Werten vereinbar [6]. Bei dem von der Spannung  $10 \text{ kp/mm}^2$  bei  $350^\circ\text{C}$  ausgelösten Stab ist die Eigenspannung auf -8 und bei dem von der gleichen Spannung bei  $450^\circ\text{C}$  ausgelösten auf  $-3 \text{ kp/mm}^2$  herabgegangen. Gleicherweise war in den Versuchen mit  $5 \text{ kp/mm}^2$  Ausgangsspannung beim Auslösen bei  $500$  bzw.  $550^\circ\text{C}$  die residuale Eigenspannung  $-7$  bzw.  $-5 \text{ kp/mm}^2$ . Die von jeweils drei Aufnahmen gelieferten Spannungswerte variierten recht wenig untereinander, nur 1 bis 2  $\text{kp/mm}^2$ .

Tabelle 1.

Probestab Nr.	Versuchs- temperatur °C	Spannung kp/mm <sup>2</sup>	Mittelwert kp/mm <sup>2</sup>
Normalisiert und um 10 % kaltverformt	-	- 11,5 - 11 - 11	- 11
Kurve 6	350	- 6,5 - 8 - 10,5	- 8
Kurve 8	450	- 3 - 3 - 3	- 3
Kurve 10	500	- 7 - 8 - 7	- 7
Kurve 12	550	- 5 - 4 - 6	- 5

In Bild 6 folgen senkrecht zur Oberfläche des Probekörpers als Bilderreihe die Debye-Scherrer-Aufnahmen des normalisierten, unbearbeiteten Ausgangsmaterials und desselben Materials in den Endzuständen nach den verschiedenen Versuchen (Kurven Nr. 5, 7, 9 und 11 in Bild 3 und 4). Die Korngrösse war in verschiedenen Probestäben verschiedenen, bedingt durch unhomogenität des Prüfmaterials. Die Korngrösse wurde nach der A.S.T.M.-Tabelle bestimmt. In den Debye-Scherrer-Aufnahmen der bei 150 °C, 200 °C, 350 °C (Kurve Nr. 5) und 500 °C (Kurve Nr. 9) ausgelösten unbearbeiteten Probestäbe ebenso wie in deren Korngrösse wurden keine Abweichungen von denen des Ausgangsmaterials beobachtet. Die Korngrösse ist 5 bis 6. Der bei 450 °C (Kurve Nr. 7) und der bei 550 °C (Kurve Nr. 11) ausgelöste Stab haben die A.S.T.M.-Korngrösse 7 bzw. 8. In den Debye-Scherrer-Aufnahmen ist die geringere Korngrösse an der geringeren Ausdehnung und grösseren Zahl und Schärfe der Interferenzpunkte erkennbar. Fernerhin scheint sich beim letzteren Stab die  $K_{\alpha}$ -Dublette etwas deutlicher ausgeprägt zu gestalten. Diese Umstände sind in den Originalfilmen deutlicher als in der Reproduktion zu sehen. In der Struktur hat während des Glühens von 5 Tagen Dauer nahezu vollständiger Übergang des Zementits in Kugelform stattgefunden. Ausser in den Debye-Scherrer-Aufnahmen der bei 450 °C und bei 550 °C ausgelösten Probestäbe wurden bei dem unbearbeiteten Material

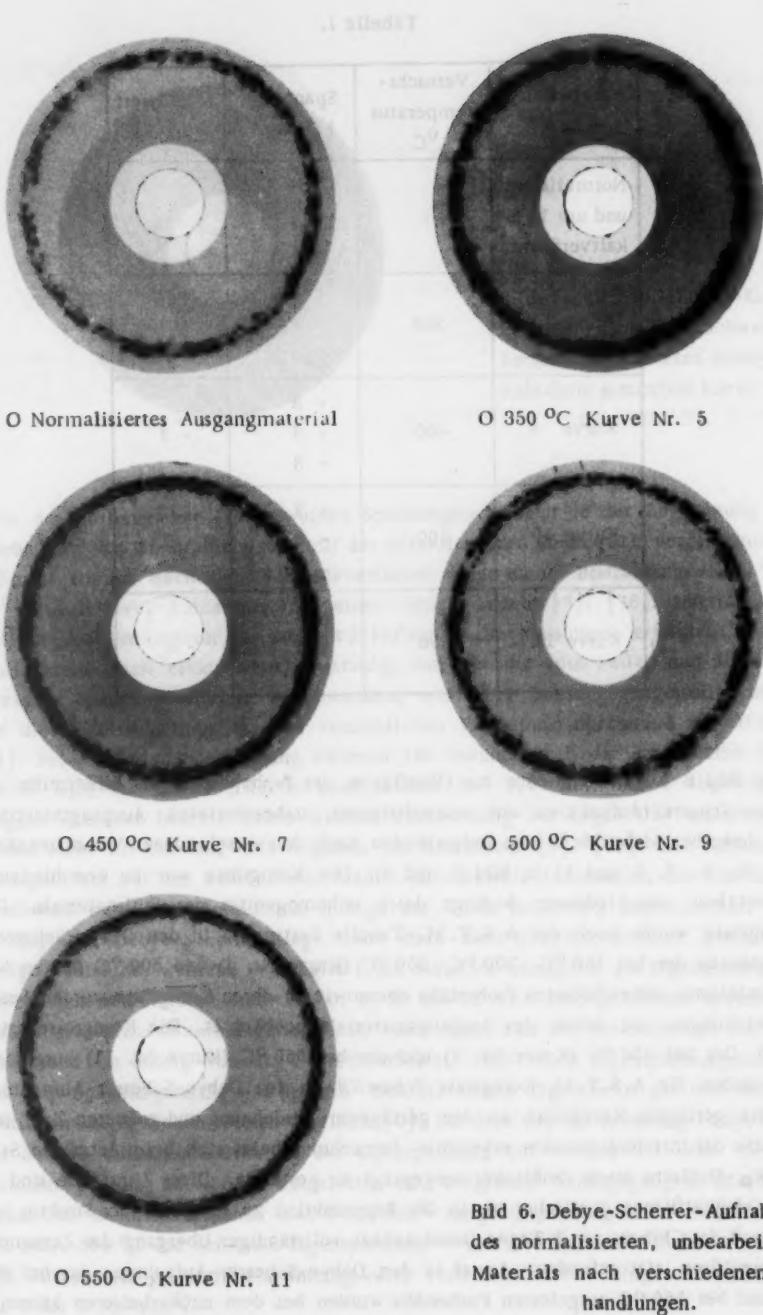
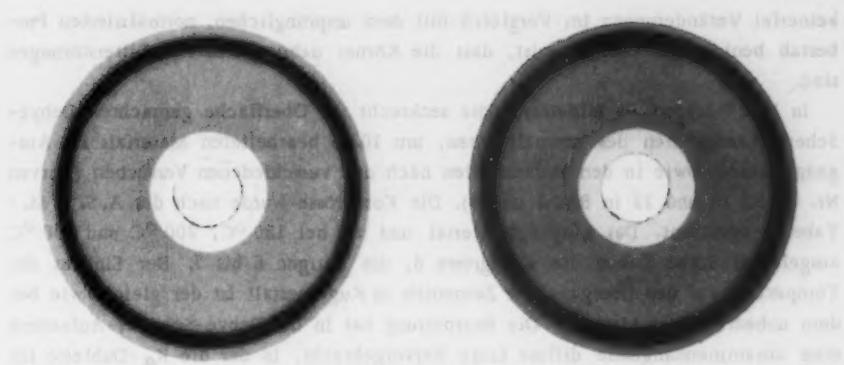
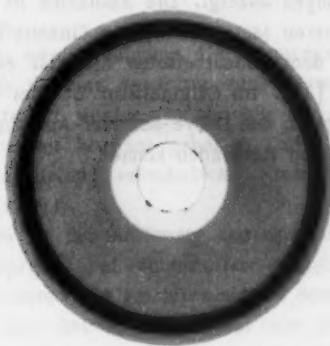


Bild 6. Debye-Scherrer-Aufnahmen des normalisierten, unbearbeiteten Materials nach verschiedenen Behandlungen.

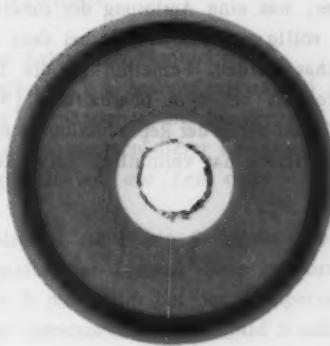


M Normalisiert und 10 % kaltverformt

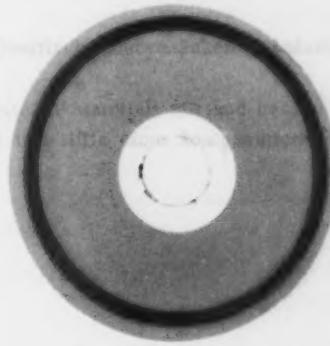
M 350 °C Kurve Nr. 6



M 450 °C Kurve Nr. 8



M 500 °C Kurve Nr. 10



M 550 °C Kurve Nr. 12

Bild 7. Debye-Scherrer-Aufnahmen  
des im Betrag von 10 % bearbei-  
ten Materials nach verschieden-  
en Behandlungen.

keinerlei Veränderungen im Vergleich mit dem ursprünglichen, normalisierten Probestab beobachtet; dies beweist, dass die Körner nahezu frei von Gitterstörungen sind.

In Bild 7 folgen als Bilderreihe die senkrecht zur Oberfläche gemachten Debye-Scherrer-Aufnahmen des normalisierten, um 10 % bearbeiteten Materials im Ausgangszustand sowie in den Endzuständen nach den verschiedenen Versuchen (Kurven Nr. 6, 8, 10 und 12 in Bild 3 und 4). Die Korngrösse wurde nach der A. S. T. M. - Tabelle bestimmt. Das Ausgangsmaterial und die bei 150 °C, 200 °C und 350 °C ausgelösten Stäbe haben die Korngrösse 6, die übrigen 6 bis 7. Der Einfluss der Temperatur auf den Übergang des Zementits in Kugelgestalt ist der gleiche wie bei dem unbearbeiteten Material. Die Bearbeitung hat in der Debye-Scherrer-Aufnahme eine zusammenhängende diffuse Linie hervorgebracht, in der die  $K_{\alpha}$ -Dublette im Fall der bei 450 °C und 500 °C ausgelösten Stäbe schwach sichtbar ist. Bei dem bei 550 °C ausgelösten Stab werden die Linien schärfer und die  $K_{\alpha}$ -Dublette deutlicher, was eine Auflösung der inneren Spannungen anzeigen. Die Aufnahme ist somit völlig anderer Art als bei dem unbearbeiteten Material, wo die Einzelreflexe sichtbar werden. Fernerhin ist die Linie bei dem unbearbeiteten Material etwas breiter als bei dem bearbeiteten [8], [11], [15]. Im Originalfilm ist dies viel deutlicher als in der Reproduktion zu erkennen. Nach den Debye-Scherrer-Aufnahmen zu schliessen hat vermutlich keine Rekristallisation stattfinden können.

- 1) Die Spannungsauslösung ist eine mechanische Vorgangsweise, welche die Spannungen aus dem Material löst.
- 2) Ein Apparatur, welche die Auslösung von Spannungszuständen bei gegebener Temperatur konstant halten und die zum Aufrechterhalten dieser konstanten Formänderung erforderliche Kraft in Abhängigkeit von der Zeit registriert.
- 3) Materialien zu Messen: Blech, Stahl, Eisen, Metall, die mögliche Formänderungen können durchsetzen, ohne dass diese durch die Blechdicke begrenzt werden.
- 4) Materialien zu untersuchen: Blech und Eisen, Eisen mit einer Blechdicke von 1 mm für die Spannungsauslösung.

### 3. ZUSAMMENFASSUNG

- 1) Es werden eingangs die Spannungen und ihre Relaxation besprochen.
- 2) Es ist eine Apparatur zum Messen der Auslösung von Spannungszuständen konstruiert worden, in welcher die gewünschte Formänderung bei gegebener Temperatur konstant gehalten und die zum Aufrechterhalten dieser konstanten Formänderung erforderliche Kraft in Abhängigkeit von der Zeit registriert wird (Bild 1).
- 3) Es ist die Auslösung von Spannungszuständen in Höhe von  $5 \text{ kp/mm}^2$  und  $10 \text{ kp/mm}^2$  bei kohlenstoffarmem Stahl im normalisierten Zustand sowie im normalisierten und anschliessend im Betrag von 10 % bearbeitet bei den Temperaturen  $150 \dots 550^\circ\text{C}$  im Verlauf von 100 Stunden untersucht worden (Bild 3 und 4). Die Spannungen werden im bearbeiteten Stahl bei den höchsten Temperaturen bis herab zu etwa  $200^\circ\text{C}$  in weit stärkerem Grad als bei dem unbearbeiteten Stahl ausgelöst, während unterhalb etwa  $200^\circ\text{C}$  die Auslösung im unbearbeiteten Material etwas stärker ausfällt.
- 4) Von den Probestäben sind senkrecht zur Oberfläche Debye-Scherrer-Aufnahmen gemacht worden (Bild 6 und 7).
- 5) Die inneren Spannungszustände des bearbeiteten Materials vor und nach durchgeführtem Spannungsauslösungsversuch sind mit Hilfe eines Röntgeninterferenz-Verfahrens gemessen worden (Tabelle 1).

metallische Verzerrungen im Winkelbereich von  $\pm 10^\circ$  abweichen, verdeckt werden diese Spannungen durch diejenigen, welche durch die Gitterfehlstellen entstehen.

In Bild 7 ist die Abhängigkeit der inneren Spannungen von den Dehnungswerten dargestellt. Es zeigt sich, dass die Spannungen, welche durch die Gitterdehnungen entstehen, umso größer werden, je höher die Dehnung ist. Die Abhängigkeit der inneren Spannungen von den Dehnungswerten ist für die verschiedenen Materialien verschieden. Dies ist in Bild 8 für Eisen und Aluminium dargestellt. Die Abhängigkeit der inneren Spannungen von den Dehnungswerten ist für Eisen und Aluminium verschieden. Dies ist in Bild 8 für Eisen und Aluminium dargestellt.

#### 4. SCHRIFTTUM

1. Cottrell, A. H.: Dislocations and Plastic Flow in Crystals. Oxford 1953.
2. Cottrell, A. H.: Theory of Dislocations. Progress in Metal Physics 1953.
3. Dehlinger, Ulrich: Die Entstehung von innerer Spannungen bei Vorgängen in Metallen. Zeitschrift für Metallkunde 50(1959):3.
4. Fink, K.; Rohrbach, Chr.: Handbuch der Spannungs- und Dehnungsmessungen. Berlin (1957).
5. Clocker, R.: Materialprüfung mit Röntgenstrahlen. Berlin (1958).
6. Hauk, V.: Ermittlung von Eigenspannungen aus röntgenographischen Gitterkonstanten-Messungen. Archiv für das Eisenhüttenwesen 25(1954):5/6.
7. Hauk, V.; Möller, H.; Brasse, F.: Ein Beitrag zur Frage der Ätzspannungen in Eisenwerkstoffen. Archiv für das Eisenhüttenwesen 27(1956):5.
8. Houdremont, Eduard; Scholl, Herbert: Die Bewertung innerer Spannungen für die Praxis. Zeitschrift für Metallkunde 50(1959):9.
9. Kochendörfer, A.; Ewertz, H.: Das Polygonisations- und Rekristallisationsverhalten von reinem Eisen im Hinblick auf die Herstellung von Einkristallen. Archiv für das Eisehüttenwesen 30(1959):7.
10. Kröner, E.: Kontinuumstheorie der Versetzungen und Eigenspannungen. Berlin 1958.
11. Macherauch, E.; Müller, P.: Gitterdehnungen und Eigenspannungen reinster und legierter Aluminiumproben nach Zugverformung. Zeitschrift für Metallkunde 49(1958):6.

12. Miekkoja, H. M.: Metallioppi. Helsinki 1960.
13. Papsdorf, W.; Schwier, F.: Kriechen und Spannungsverlust bei Stahldraht, insbesondere bei leicht erhöhten Temperaturen. Stahl und Eisen 78(1958): 14.
14. Rassweiler, G. M.; Grube, W. L.: Internal Stresses and Fatigue in Metals. (Symposium, Detroit and Warren, Mich., 1958). New York 1959.
15. Sander, H-R.; Hempel, M.: Metallographische und röntgenographische Untersuchungen von Weicheisen nach Kaltverformung und Wechselbelastung. Archiv für das Eisenhüttenwesen 23(1952):9/10.
16. Schaal, A.: Industrielle Anwendungsmöglichkeiten der röntgenographischen Spannungsmessung. Archiv für das Eisenhüttenwesen 26(1955):8.
17. Sully, A. H.: Recent Advantage in Knowledge Concerning the Process of Creep in Metals. Progress in Metal Physics. 1958.



## LAST ISSUES OF ACTA POLYTECHNICA

### Mechanical Engineering Series

(the predecessor of Acta Polytechnica Scandinavica)

#### Volume 2

- Nr 7 PETERSSON, S: *Investigation of Stress Waves in Cylindrical Steel Bars by Means of Wire Strain Gauges.* Acta P 118 (1953), 22 pp, Sw. Kr 3: 50 UDC 534.1.08
- Nr 8 FALKEMO, C: *On the Possibilities of Estimating the Towing Resistance of Ships by Tests with Small Models. I.* Acta P 122 (1953), 51 pp, Sw. Kr 7: 00 UDC 629.28.078.5.001.57
- Nr 9 ODQVIST, F: *Influence of Primary Creep on Stresses in Structural Parts.* Acta P 125 (1953), 18 pp, Sw. Kr 2: 50 UDC 539.434
- Nr 10 OLSSON, U: *Non-circular Cylindrical Gears.* Acta P 135 (1953), 216 pp, Sw. Kr. 18: 00 UDC 621.833.5.621.834

#### Volume 3

- Nr 1 PETERSSON, O: *Circular Plates Subjected to Radially Symmetrical Transverse Load Combined with Uniform Compression or Tension in the Plane of the Plate.* Acta P 138 (1954), 30 pp, Sw. Kr 7: 00 UDC 539.384.4
- Nr 2 NIORDSON, F: *Vibrations of a Cylindrical Tube Containing Flowing Fluid.* Acta P 139 (1954), 28 pp, Sw. Kr 4: 00 UDC 534.131.2
- Nr 3 NIORDSON, F: *Vibrations of Turbine Blades with Loose Hinge Support.* Acta P 140 (1954), 11 pp, Sw. Kr 5: 00 UDC 534.014.1.621.453.5
- Nr 4 KARLSSON, K I: *Simple Calculation of Deformation and Stress in the Shell of Thin-walled Cylindrical Vessels.* Acta P 162 (1954), 24 pp, Sw. Kr 8: 00 UDC 539.384.6
- Nr 5 STENEROTH, E: *On the Transverse Strength of Tankers.* Acta P 169 (1955), 104 pp, Sw. Kr 11: 00 UDC 539.4.629.123.56
- Nr 6 DAVIDSSON, W: *Investigation and Calculation of the Remaining Tensile Strength in Wire Ropes with Broken Wires.* Acta P 174 (1955), 38 pp, Sw. Kr 8: 00 UDC 621.86.065.3.620.172
- Nr 7 GOTZLINGER, J. and JOHANSSON, S: *Dynamic Forces in Cranes.* Acta P 175 (1955), 34 pp, Sw. Kr 8: 00 UDC 621.873.001.62621.873.351.78
- Nr 8 SCHRODER, H: *Distribution of the Surface Pressure over the Friction Lining of Brakes with Rigid Shoes and Drums, and Efficiency of Such Brakes.* Acta P 188 (1956), 44 pp, Sw. Kr 6: 00 UDC 621.393.629.123
- Nr 9 FALKEMO, C: *On the Possibilities of Estimating the Towing Resistance of Ships by Tests with Small Models. II* Acta P 201 (1956), 15 pp, Sw. Kr 5: 00 UDC 629.12.078.5.001.57
- Nr 10 KARLSSON, I: *On the Stability of the Steel Lining in a Vertical Penstock Shaft.* Acta P 211 (1957), 22 pp, Sw. Kr 8: 00 UDC 627.8.024.2.627.8.044
- Nr 11 TOFTDAHL OLESEN, H: *Calculations on Jog Conveyors.* Acta P 220 (1957), 20 pp, Sw. Kr 5: 00 UDC 621.867.58

## ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA

### Mechanical Engineering Series

- Ma 1 COLDING, B: *Testing of Machinability by Radioactive Methods.* (Acta P 243/1958) 42 pp + figs. Sw. Kr 7: 00 UDC 621.9.025.620.178.16:359.16.004.14
- Ma 2 KJÆR, VIGGO A: *Vertical Vibrations in Cargo and Passenger ships.* (Acta P. 244/1958), 52 pp. Sw. Kr 7: 00 UDC 534.858.1.629.12.07
- Ma 3 EIROLA, OLAVI: *Die Ermüdungsfestigkeit des Schweissmetalls.* (Acta P. 250/1958), 26 pp. Sw. Kr 7: 00 UDC 539.431.3.669—162:621.791.7
- Ma 4 SALOKANGAS, J: *Die korrosionsbedingten Ermüdungsbrüche der Plastelstangen bei Gatterträgern.* (Acta P. 251/1958), 23 pp. Sw. Kr 7: 00 UDC 620.178.311.8
- Ma 5 OLSSON, U: *Non-circular Bevel Gears.* (Acta P. 256/1959), 191 pp. Sw. Kr 14: 00 UDC 621.833.5.621.834.311.8
- Ma 6 JAAKKO SALOKANGAS AND P. LEHTO: *On the Fatigue Strength of a Copper Coating Sprayed on Steel Bars.* (Acta P. 258/1959) 21 pp. Sw. Kr. 7: 00 UDC 620.178.3.621.793.7.669.389
- Ma 7 ASTRUP, NILS CHRISTIAN: *Cavitation Erosion on Screw Propellers.* (Acta P. 280/1960), 16 pp, Sw. Kr. 7: 00 UDC 629.12.037:620.193.16
- Ma 8 AGERMAN, E: *Notch Sensitivity in Steel.* (Acta P 288/1960), 43 pp, Sw. Kr 7: 00 UDC 539.43:620.178.3

**Price Sw. Kr. 7.00**

